

Efecto de la desaparición de los vertidos de aguas residuales urbanas sobre la comunidad reducida de *Macoma* en las islas del estuario del río Bidasoa (golfo de Vizcaya)

L. Garmendia¹, M. Marquiegui¹, F. Aguirrezabalaga¹, I. Cruz¹ y L. Cantón²

¹ S. C. INSUB. Zemoriya, 12. Apartado 3223. E-20013 Donostia-San Sebastián, España. Correo electrónico: insub@euskalnet.net

² Grupo de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas. UPV-EHU. Apdo. 1072. E-20080 Donostia-San Sebastián, España

Recibido en enero de 2003. Aceptado en diciembre de 2003.

RESUMEN

En 1993 se realizó un estudio (Sola *et al.*, inédito) cuyo objetivo era evaluar el impacto del vertido de las aguas residuales urbanas de Irún, Hondarribia y Hendaia sobre las comunidades macrobentónicas de las islas del estuario del Bidasoa (sureste del golfo de Vizcaya). En el año 2000 estos vertidos fueron desviados al mar, lejos del estuario y, para evaluar el efecto de esta reconducción, se repitió en 2002 el trabajo realizado en 1993. Los resultados obtenidos, así como los índices bióticos utilizados, muestran una clara y rápida recuperación de las comunidades bentónicas. Las estaciones que en 1993 se caracterizaban principalmente por la ausencia total o carencia de ejemplares adultos de *Scrobicularia plana* (Da Costa, 1778) presentan en la actualidad una población estable de *S. plana*, con varias clases de edad.

Palabras clave: Comunidad reducida de *Macoma*, *Scrobicularia plana*, desaparición de vertidos orgánicos, estuario del río Bidasoa, costa vasca, golfo de Vizcaya.

ABSTRACT

Impact of the disappearance of urban waste water on a reduced community of *Macoma* around the islands of the Bidasoa estuary (Bay of Biscay)

In 1993, a study was carried out (Sola *et al.*, unpublished) to evaluate the impact of the urban wastes dumped by the cities of Irun, Hondarribia and Hendaia on the macrobenthic communities around the islands in the Bidasoa estuary (southeast of the Bay of Biscay).

Starting in September 2000, these effluents were piped out to sea. To evaluate the extent of this change's effects, in April 2002, another study was conducted similar to that of the decade before. Its results, as well as the biotic indices used, indicate a clear and rapid recovery of the macrobenthic communities. The stations characterised in 1993 by a complete absence of adult *Scrobicularia plana* (Da Costa, 1778) now present stable *S. plana* populations, featuring several age classes.

Keywords: Reduced *Macoma* community, *Scrobicularia plana*, organic pollution disappearance, Bidasoa estuary, Basque coast, Bay of Biscay.

INTRODUCCIÓN

El estuario del río Bidasoa se localiza en el extremo sureste del golfo de Vizcaya, entre las poblaciones guipuzcoanas de Irún y Hondarribia y la francesa de Hendaia. Tiene una longitud aproximada de 11 km y ocupa una superficie aproximada de 2,8 km², de los que alrededor del 50 % se corresponde con áreas intermareales. Tras la reserva de la biosfera de Urdaibai, en Vizcaya, constituye el estuario mejor conservado de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Tradicionalmente, los residuos urbanos, principalmente, e industriales generados por las poblaciones ribereñas venían siendo vertidos al estuario. En 1993 se realizó un estudio ecológico integral (sedimento, agua y fauna) de las islas del Bidasoa (Sola *et al.*, inédito) con los objetivos de caracterizar las principales variables fisicoquímicas del sedimento y el agua en la zona de estudio, estudiar la distribución espacial de las comunidades de la macrofauna bentónica y evaluar la situación medioambiental en la zona de las islas del Bidasoa.

Los resultados obtenidos permitieron diferenciar tres zonas o estados de calidad medioambiental: 1) las estaciones próximas a los colectores de aguas residuales, que presentaban una fauna muy empobrecida; 2) las estaciones situadas en torno a la isla Iru-Kanale, que recibían los aportes contaminantes de los canales de Dunboa y Artía, fundamentalmente, caracterizadas por la ausencia total o carencia de ejemplares adultos del bivalvo *Scrobicularia plana* (Da Costa, 1778) y por un aumento de la densidad del poliqueto *Hediste diversicolor* (Müller, 1776); 3) las estaciones restantes, principalmente las situadas en la zona norte de las islas, caracterizadas por una diversidad específica alta o por la evidencia de condiciones estables a largo plazo, por ejemplo, la presencia de varias clases de edad de moluscos (*S. plana* principalmente).

En 1996 y 1997, respectivamente, los vertidos de los canales de Dunboa y Artía se desplazaron, aguas abajo, a la zona del puente internacional. A partir de septiembre de 2000, en que terminaron la mayor parte de las obras de saneamiento de las poblaciones de Irún y Hondarribia, los vertidos fueron definitivamente desviados al mar (cala Atalerreka), lejos del estuario.

Con el fin de comparar el estado de las comunidades macrobentónicas de la zona de las islas del Bidasoa con el que presentaban en 1993 y evaluar,

de esta manera, la influencia de la desviación de los vertidos al mar, durante la última semana de abril de 2002 se realizó el muestreo completo de todas las estaciones, siguiendo, en la medida de lo posible, el plan de 1993.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos, que muestran una clara recuperación de la zona de las islas, donde *S. plana* vuelve a ser una de las especies más importantes y características de la comunidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el estudio de la macrofauna y el sedimento se tomaron muestras en 29 estaciones: 21 intermareales y 8 submareales (figura 1).

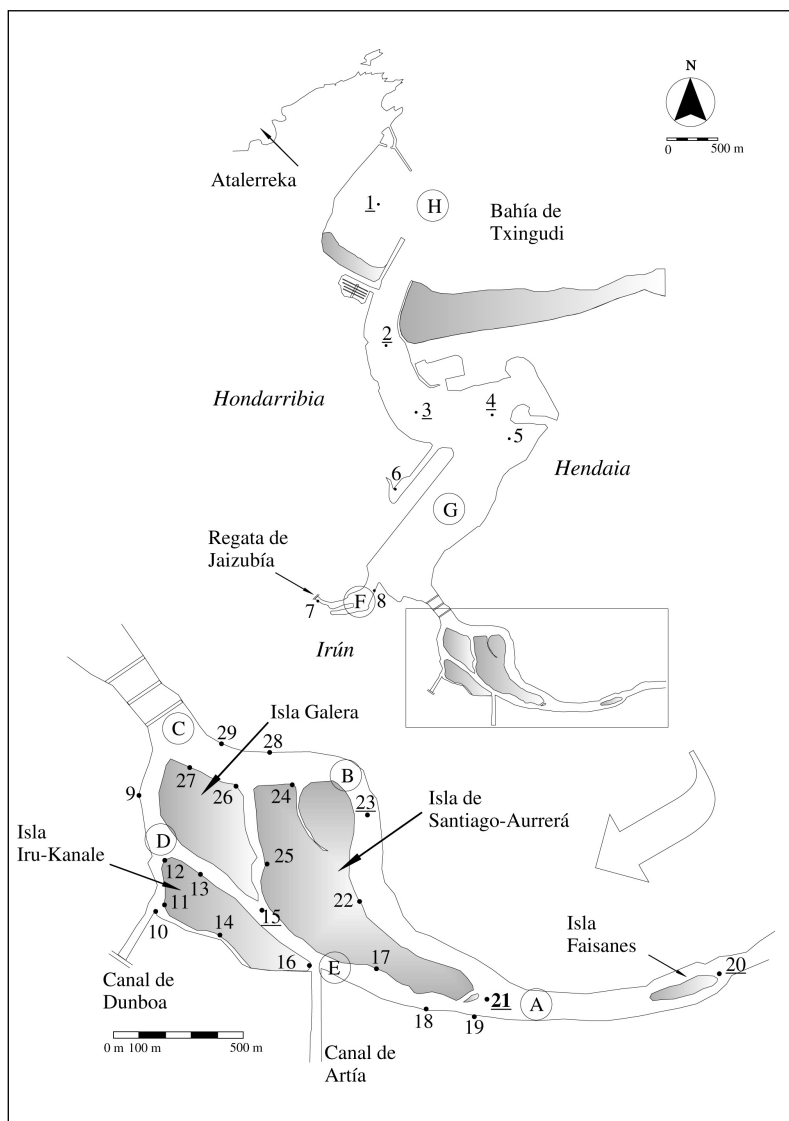
Las muestras intermareales se obtuvieron en bajamares vivas, utilizando un cilindro tipo corer, fabricado en PVC, con una superficie útil de 430 cm². El cilindro se introdujo manualmente en el sedimento hasta alcanzar los 20 cm de profundidad, separándose los 5 cm superficiales de sedimento de los 15 cm restantes. Para la separación de la fauna, el sedimento más superficial se tamizó con un cedazo de 0,5 mm de luz de malla, mientras que los 15 cm restantes se pasaron por un cedazo de 1 mm de luz de malla. En cada punto de muestreo se recogió una única muestra.

En las estaciones submareales de la boca del estuario (estaciones 1, 2, 3 y 4) las muestras se recogieron mediante una draga de tipo Van Veen con una superficie de apertura de 0,1 m²; en cada estación se tomaron dos réplicas. Para la separación de la fauna se utilizó una red de 1 mm de luz de malla.

En las estaciones submareales del interior del estuario (estaciones 15, 20, 21 y 23) las muestras fueron recogidas utilizando cajas de acero de 170 cm² de superficie que se introdujeron hasta una profundidad de 20 cm, tomándose dos réplicas por estación. Estas muestras fueron procesadas utilizando malla de 0,5 mm de luz.

Asimismo, en cada estación se recogieron dos submuestras de 100 ml para el análisis del sedimento. Para el análisis granulométrico se reservó una fracción de 50 g de sedimento que, tras desecación en estufa, se tamizó en una columna de tamices de: 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 y 0,063 mm. El porcentaje de materia orgánica se calculó por calcinación en horno mufla a 560 °C durante 6 horas.

Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo. Bentos (sedimento y fauna): estaciones 1 a 29; se subrayan las estaciones submareales. Hidrología: estaciones A-H incluídas en un círculo.



La determinación del carbono orgánico total (COT) y del nitrógeno total en el sedimento se realizó mediante un analizador elemental Perkin-Elmer 2400.

Análogamente, sobre 8 estaciones designadas consecutivamente de A a H, y ordenadas desde el final de las islas hacia la boca del estuario (figura 1), se tomaron muestras de agua para analizar el contenido en nitrógeno y fósforo total. Para su determinación se siguió la técnica analítica utilizada en el caso de los sedimentos. Los análisis químicos se realizaron en AZTI (Instituto Tecnológico Pesquero y Alimentario del País Vasco).

Se analizaron las siguientes características ecológicas: abundancia, biomasa (PSLC), riqueza específica, diversidad de Shannon-Wiener (H') y equitatividad de Pielou (J'). El análisis multivariante de

los datos se realizó mediante los análisis cluster y MDS contenidos en el paquete estadístico primer (Clarke y Warwick, 1994). Para la realización de la matriz de similitud entre las muestras se utilizó el índice de Bray-Curtis con los resultados de la abundancia transformados con la raíz cuadrada.

También se determinó la calidad ambiental del área de estudio mediante el índice de calidad biológica (ICB) (Jeffrey *et al.*, 1985), utilizado en el estudio de 1993, y el coeficiente biótico (CB) y el índice biótico (IB) (Borja, Franco y Pérez, 2000) que, basado en los trabajos de Glémarec y Hily (1981), Hily (1984) y Grall y Glémarec (1997), fue creado para la costa vasca y, por extensión, para las costas atlánticas europeas (Borja *et al.*, 2000). En todos los casos se describe la calidad ambiental del es-

tuario en función de la macrofauna bentónica presente en las estaciones muestreadas.

RESULTADOS

Sedimento (tabla I)

El contenido en fango de los sedimentos estudiados varía, en general, entre 3,6 % y 20,4 %, siendo los valores extremos (0,03 % y 45,8 %) los hallados en las estaciones 2 y 7, respectivamente.

El tipo sedimentario predominante son las arenas fangosas, apreciándose una clara diferenciación entre los sedimentos próximos a la boca del estuario (estaciones 1 a 5), con menor contenido en fango, y los situados en la zona de las islas que son más fangosos. Del mismo modo, y debido a que se produce una sedimentación selectiva o un barrido de sedimentos finos (o ambas circunstancias) en los canales principales, el sedimento de las estaciones sub-

mareales en la zona de las islas presenta un contenido menor de finos que el de las zonas intermareales. Así, en las estaciones submareales (20, 21 y 23) la proporción de fango se sitúa entre 0,6 % y 3,9 %, mientras que en las estaciones intermareales de la misma zona varía, en general, entre 6 % y 20 %.

En los sedimentos de las estaciones más externas (estaciones 1 a 5) predomina la selección de grano moderada ($1,35 < S_o < 1,87$). El 54,5 % de las estaciones del interior del estuario tienen un sedimento con selección pobre ($1,87 < S_o < 2,75$) y el 33,3 % con selección moderada.

El contenido en materia orgánica de los sedimentos está comprendido entre 1,47 % y 19,08 %, y son, en líneas generales, superiores a los obtenidos en el año 1993. Aproximadamente, la mitad de las muestras de las estaciones de los alrededores de las islas tienen valores altos, comprendidos entre 10 % y 19 %. Este mismo aumento del contenido en materia orgánica se observa al analizar los valores del carbono orgánico total. Este incremento es espe-

Tabla I. Características del sedimento: fango (%), materia orgánica (%), nitrógeno total, carbono orgánico total, y relación C/N. (át): átomos.

Estación	Fango (porcentaje)	Materia orgánica (porcentaje)	N (porcentaje)	C (porcentaje)	N (mol kg ⁻¹)	C (mol kg ⁻¹)	C/N (át/át)
1	5,79	2,43	0,02	2,00	0,02	1,66	94,6
2	0,03	2,44	0,03	1,66	0,02	1,39	69,3
3	3,63	3,06	—	—	—	—	—
4	8,74	6,59	0,19	3,45	0,14	2,87	21,2
5	15,22	4,73	0,13	2,33	0,09	1,94	20,6
6	10,89	11,01	0,21	3,34	0,15	2,78	18,8
7	45,84	14,00	0,27	4,16	0,20	3,47	17,7
8	1,69	5,64	0,25	3,80	0,18	3,16	17,5
9	20,37	18,76	—	—	—	—	—
10	15,78	10,60	0,34	4,33	0,24	3,61	14,9
11	16,80	10,27	—	—	—	—	—
12	6,09	8,06	—	—	—	—	—
13	7,97	7,19	0,30	3,94	0,22	3,29	15,2
14	15,36	19,09	—	—	—	—	—
15	7,46	5,31	—	—	—	—	—
16	17,68	18,89	—	—	—	—	—
17	16,11	12,65	0,39	4,99	0,28	4,16	14,9
18	8,53	14,98	—	—	—	—	—
19	12,49	17,85	0,47	5,93	0,34	4,94	14,7
20	0,67	2,00	—	—	—	—	—
21	3,94	1,48	0,36	4,69	0,26	3,91	15,3
22	11,32	9,97	0,26	3,37	0,19	2,80	15,0
23	1,22	3,67	—	—	—	—	—
24	11,12	6,89	—	—	—	—	—
25	8,38	4,18	—	—	—	—	—
26	10,00	16,22	0,38	4,89	0,27	4,07	15,0
27	8,74	7,96	0,29	3,52	0,21	2,93	14,0
28	16,30	16,40	—	—	—	—	—
29	8,83	9,60	0,32	3,91	0,23	3,26	14,3

cialmente acusado en las estaciones cuyo sedimento muestra una selección pobre.

En todas las muestras analizadas la relación C/N es netamente superior a 12 ($C/N > 14$) (tabla I), lo que se considera un hecho inequívoco de que un sedimento superficial está afectado por aportes de materia orgánica de origen terrestre, principalmente vegetal (Cerviño, Alonso y Landín, 1982).

Agua: nitrógeno y fósforo

Los valores del nitrógeno total y fósforo obtenidos (tabla II) muestran que los valores más bajos se han detectado en la estación A, es decir, en la parte más interna del estuario. Las estaciones B y C, localizadas en el canal norte (Hendaia) de las islas del Bidasoa, presentan mayores niveles de N y P que las estaciones D y E, situadas en el canal sur (Irún), posiblemente debido a las aportaciones procedentes de pequeños vertidos urbanos realizados desde las residencias situadas en el margen derecho del canal norte.

La estación F registra los mayores valores de N total y P debido a las contribuciones de los vertidos de aguas residuales de la zona de Jaizubía, que van perdiendo intensidad a medida que se avanza hacia la boca del estuario ($F > G > H$), aunque estas tres estaciones son las que presentan mayores concentraciones, tanto de N como de P.

En la mayor parte de las estaciones el valor de la relación N/P está comprendido entre 11 y 13, situación asociada a la existencia de un foco similar de aportes de nutrientes. En las estaciones F y C el valor de esta relación es netamente inferior, especialmente en la estación F, lo que indicaría la presencia de aportes distintos a los de las restantes estaciones.

Tabla II. Nitrógeno total y fósforo total en agua.

Estación	Nitrógeno total		Fósforo total		N/P
	$\mu\text{mol l}^{-1}$	mg l^{-1}	$\mu\text{mol l}^{-1}$	mg l^{-1}	
A	94	1,32	3,70	0,11	12,0
B	126	1,76	5,30	0,16	11,0
C	142	1,99	6,35	0,20	9,95
D	103	1,44	3,55	0,11	13,0
E	110	1,54	3,80	0,12	12,8
F	280	3,92	17,40	0,54	7,25
G	250	3,50	9,10	0,28	12,5
H	210	2,94	7,65	0,24	12,25

Macrofauna

En el total de muestras analizadas se han obtenido 18 301 ejemplares pertenecientes a 66 especies (tabla III). Del total de ejemplares y especies se han recolectado 593 ejemplares pertenecientes a 14 especies de crustáceos; 1 462 ejemplares y 25 especies de moluscos; y 15 976 individuos y 27 especies de anélidos, de las que 26 corresponden a anélidos poliquetos.

Del total de individuos recolectados, el 94,36 % pertenece a 8 especies: el molusco bivalvo *S. plana*, los anélidos poliquetos *H. diversicolor*, *Alkmaria romijni* (Horst, 1919), *Desdemona ornata* Banse, 1957, *Capitella capitata* (Fabricius, 1780) y *Streblospio shrubsolii* (Buchanan, 1890), el crustáceo isópodo *Cyathura carinata* (Kröyer, 1848) y la clase Oligochaeta (tablas III y IV).

El análisis del dendrograma de clasificación de las muestras en función de la distribución de la abundancia, permite distinguir grupos de estaciones relacionados con el gradiente de salinidad, fundamentalmente, y la contaminación (figura 2).

Grupo A

En este grupo se incluyen 6 estaciones cuya característica principal es la baja afinidad que presentan entre sí y con el resto de las estaciones. Pertenecen a este grupo las estaciones situadas en la boca o en la parte externa del estuario: 4 estaciones submareales (estaciones 1 a 4) y la estación intermareal (5). Las comunidades de las estaciones 2, 3, 4, principalmente, y también la 5, albergan especies típicamente marinas junto con especies más propias de ambientes estuarinos, mostrando claramente la gradación existente entre las estaciones (estación 2, más externa, y estación 5, más interna). Análogamente, esta misma gradación que se da en la composición faunística, se observa también en la abundancia y en la riqueza específica. Desde la estación 2 (104 indiv/27 especies) a la estación 5 (174 indiv/15 especies) la abundancia va aumentando mientras decrece la riqueza específica y, con ello, la diversidad (H' : 4,1-2,7 bits). Estas cinco estaciones presentan una densidad netamente inferior a las estaciones del interior del estuario, pero, simultáneamente, la riqueza específica es superior, lo que se traduce en una diversidad H' más elevada.

Tabla III. Listado de especies de la macrofauna ordenadas desde la boca al interior del estuario: abundancia, grupo ecológico y número total de individuos por especie. Características ecológicas de cada muestra: coeficiente e índice bióticos (Borja, Franco y Pérez, 2000), abundancia, densidad (indiv/m²), biomasa PSLC (g), riqueza específica, diversidad (H') y equitatividad (J').

Especies / Estaciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Nephtys assimilis</i> Oersted, 1843	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mysella bidentata</i> (Montagu, 1803)	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mysidacea sd.	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bela nebula</i> (Montagu, 1803)	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spisula elliptica</i> (Brown, 1827)	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tellina fabula</i> Gronovius, 1781	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Apseudes latreillei</i> (Milne Edwards, 828)	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nephtys cirrosa</i> Ehlers, 1868	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Malacoceros girardi</i> (Johnston, 1827)	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polydora</i> sp.	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
POLYNOIDAE	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prionospio fallax</i> Söderström, 1920	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tellina</i> sp.	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bathyporeia elegans</i> Watkin, 1938	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bitium reticulatum</i> (Da Costa, 1778)	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Retusa truncatula</i> (Bruguère, 1792)	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Larva decapoda	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Abra</i> sp.	2	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Siphonocetes kroyeranus</i> Bate, 1856	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Venus casina</i> Linnaeus, 1758	2	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eumida bahusiensis</i> Bergstrom, 1914	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastropoda sd.	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Glycera</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lepidochitona cinerea</i> (Linnaeus, 1767)	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paramphitrite</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Periculodes longimanus</i> (Bate&Westwood, 1868)	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polyophthalmus pictus</i> (Dujardin, 1839)	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spio decoratus</i> Bobrezky, 1870	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Syllidia armata</i> Quatrefages, 1865	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tricolia pullus</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gammarella fucicola</i> (Leach, 1814)	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nassarius reticulatus</i> (Linnaeus, 1758)	1	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phthisica marina</i> Slabber, 1769	1	2	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dosinia lupinus</i> (Linnaeus, 1758)	-	17	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Armandia cirrosa</i> Filippi, 1861	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chamelea gallina</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spisula subtruncata</i> (Da Costa, 1778)	7	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corbula giba</i> (Olivi, 1792)	-	3	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Abra nitida</i> (Muller, 1789)	-	3	16	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lucinella divaricata</i> (Linnaeus, 1758)	-	3	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Iphinoe</i> sp.	-	14	13	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nassarius pygmaeus</i> (Lamarck, 1822)	-	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cylichna cylindracea</i> (Pennant, 1777)	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gyptis rosea</i> (Malm, 1874)	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Upogebia pusilla</i> (Petagna, 1792)	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paradoneis armata</i> Glémarec, 1966	-	7	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tapes decussatus</i> (Linnaeus, 1758)	-	1	2	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Glycera tridactyla</i> Schmarda, 1861	-	-	-	5	10	2	-	-	-	-	-	-	-
<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède, 1864)	-	1	-	9	49	11	-	1	-	-	-	-	-
<i>Mediomastus fragilis</i> Rasmussen, 1973	-	10	-	1	51	227	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polydora ligni</i> (Webster, 1879)	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Pseudopolydora paucibranchiata</i> (Okuda, 1937)	-	-	-	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-
<i>Carcinus maenas</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	-	-	2	-	-	-	4	-	-	-

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	Grupo	Total
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	II	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	II	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	17
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	III	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	II	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	III	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	IV	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	—	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	IV	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	—	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	III	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	II	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	—	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	II	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	—	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	—	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	III	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	—	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	III	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	II	6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	10
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	II	12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	III	53
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	9
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	42
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	II	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	II	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	III	10
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I	6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	II	17
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	III	71
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	III	289
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	IV	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	IV	25
3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	III	10

Tabla III (continuación).

Especies / Estaciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>Melita palmata</i> (Montagu, 1804)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Crangon crangon</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cerastoderma edule</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	-	2	-	-	2	-	-	-	-	-	-
<i>Nephtys hombergi</i> (Savigny, 1818)	-	-	-	1	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hydrobia ulvae</i> (Pennant, 1777)	-	-	-	-	-	105	-	-	-	1	-	-	-	41
<i>Desdemona ornata</i> Banse, 1957	-	-	-	12	2	-	-	57	59	44	6	17	22	-
<i>Alkmaria romijni</i> (Horst, 1919)	-	-	-	-	36	218	-	45	154	918	124	156	454	524
<i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780)	-	1	44	47	-	146	1	124	939	24	101	70	248	35
<i>Cyathura carinata</i> (Kröyer, 1848)	-	-	-	-	-	1	-	-	-	37	54	8	2	28
<i>Hediste diversicolor</i> (Müller, 1776)	-	1	1	1	-	1	-	286	78	49	18	79	57	26
Oligochaeta sd.	-	-	-	9	8	138	3	115	774	40	84	-	375	-
<i>Scrobicularia plana</i> (Da Costa, 1778)	-	-	-	-	3	101	-	124	54	83	56	101	44	152
<i>Streblospio shrubsolii</i> (Buchanan, 1890)	-	-	-	-	1	62	-	242	97	162	89	165	55	105
Identificado (porcentaje)														
I	87,2	57,3	31,0	14,9	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
II	7,7	5,2	4,0	13,6	10,3	0,8	0,0	5,6	3,5	3,2	1,4	2,9	1,8	0,0
III	5,1	34,4	21,0	35,1	82,8	68,7	0,0	68,5	22,5	92,1	77,1	85,4	48,7	95,8
IV	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V	0,0	1,0	44,0	36,4	4,6	30,6	100	23,4	74,1	4,7	21,5	11,7	49,6	4,2
Coefficiente biótico (BC)	0,27	1,27	3,33	3,44	2,91	3,91	6,00	3,66	5,17	3,09	3,62	3,31	4,46	3,13
Índice biótico (BI)	1	2	3	3	2	3	6	3	5	2	3	3	4	2
Abundancia	39	104	104	154	174	1119	4	1022	2155	1362	532	596	1257	936
Densidad (indiv/m ²)	1147,0	3058,6	3058,6	4529,1	4045,5	21599,3	93,0	23761,5	39641,3	31666,5	10276,5	13857,0	29225,3	19158,0
Biomasa (g)	0,0360	0,4271	0,0287	0,1659	0,1667	1,6739	0,0006	3,0883	3,7651	6,6253	1,8572	6,7861	0,5503	2,6373
Riqueza específica	12	27	22	17	15	13	2	11	7	10	8	7	8	8
Diversidad (H')	2,67	4,09	2,99	3,03	2,67	2,83	0,81	2,70	1,97	1,76	2,70	2,43	2,20	2,07
Equitatividad (J')	0,75	0,86	0,67	0,76	0,68	0,76	0,81	0,78	0,70	0,51	0,90	0,87	0,73	0,65

La estación 7, situada más hacia el interior del estuario (en el canal donde desemboca la regata de Jaizubía y donde se siguen vertiendo residuos urbanos), debido a la contaminación que sufre, se separa de todas las demás estaciones por su pobreza faunística, pudiendo considerarse casi como azoica (cuatro individuos de dos especies: un *C. capitata* y tres oligoquetos).

Grupo B

Dentro de este gran grupo se encuentra la mayoría de las estaciones intermareales (15) situadas en la zona de las islas del Bidasoa, excepto las estaciones 18, 19, 24 y 25. En todas estas estaciones la densidad varía entre 10 276 y 39 641 indiv/m², y la riqueza específica está entre 7 y 13 especies.

Las especies dominantes y características de estas estaciones –*S. plana*, *H. diversicolor*, *C. carinata*, *S. sh-*

rubsolii, *A. romijni*, *C. capitata* y oligoquetos– son las propias de la comunidad reducida de *Macoma*. A su vez, dentro del grupo B pueden diferenciarse tres subgrupos: uno (B₁) formado por las estaciones 6 y 8, localizadas fuera de las islas y más cercanas al mar, que presentan un número de especies ligeramente mayor (13 y 11, respectivamente), algunas de ellas, como *Mediomastus fragilis* Rasmussen, 1973 y *Pseudopolydora paucibranchiata* (Okuda, 1937), ausentes en el resto de las estaciones del grupo; un segundo subgrupo de estaciones (B₂) en las que el poliqueto *C. capitata* y los oligoquetos presentan una mayor abundancia, lo que las distingue de las estaciones que constituyen el tercer subgrupo (B₃).

Grupo C

Este grupo está constituido por todas las estaciones submareales de la zona de las islas del Bidasoa

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	Grupo	Total
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	III	2
-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	I	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	III	5
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	II	12
-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	3	-	1	-	III	152
-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	7	60	33	-	II	323
56	67	337	2	43	10	40	65	1	14	10	115	177	1203	447	III	5216
59	368	81	14	39	-	11	288	88	191	23	739	643	605	285	V	5214
5	5	9	6	1	25	17	39	1	14	90	52	65	21	31	III	511
25	48	49	3	82	16	13	30	26	18	5	28	41	57	33	III	1071
58	228	41	65	-	155	-	324	14	123	2	281	354	25	336	V	3552
6	16	80	4	36	-	4	29	15	1	8	35	122	95	53	III	1222
5	27	146	-	15	26	19	53	1	16	11	17	36	84	56	III	1490
Identificado (porcentaje)																
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	I	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5	4,1	2,1	0,1	II	
45,3	21,6	83,6	16,0	82,1	54,2	88,6	26,0	30,6	16,7	83,6	19,4	29,5	92,2	53,0	III	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	IV	
54,7	78,4	16,4	84,0	17,9	45,8	10,5	73,6	69,4	83,3	16,4	80,1	66,5	5,7	46,9	V	
4,64	5,35	3,49	5,52	3,54	4,37	3,29	5,20	5,08	5,50	3,49	5,39	4,93	3,14	4,41	Coeficiente biótico (BC)	
4	5	3	6	3	4	2	5	5	5	3	5	4	2	4	Índice biótico (BI)	
214	760	744	94	218	232	105	832	148	377	152	1274	1500	2124	1242	Abundancia	
6293,7	17670,0	17298,0	2185,5	5068,5	4176,2	3088,1	19344,0	4323,3	8765,3	3534,0	29620,5	34875,0	36874,5	27202,5	Densidad (indiv/m ²)	
0,8905	1,1621	3,2590	0,0072	0,1465	0,0658	0,2667	2,1864	0,1144	0,0363	1,7247	1,6102	2,8624	2,3759	1,9129	Biomasa (g)	
7	8	8	6	7	5	7	8	9	7	8	8	10	9	8	Riqueza específica	
2,29	1,94	2,25	1,50	2,23	1,55	2,36	2,19	1,74	1,80	1,97	1,83	2,34	1,75	2,20	Diversidad (H')	
0,82	0,65	0,75	0,58	0,79	0,67	0,84	0,73	0,58	0,64	0,66	0,61	0,70	0,55	0,73	Equitatividad (J')	

(estaciones 15, 20, 21 y 23) y aquellas intermareales que quedaban fuera del grupo B. Las especies características de estas estaciones son las mismas que las del grupo B (*A. romijni*, *C. capitata*, *S. shrubsolii*, *S. plana*, *C. carinata*, *H. diversicolor* y oligoquetos), y que caracterizan a la comunidad reducida de *Macoma*, pero su densidad (entre 2185 y 8765 indiv/m²) es mucho menor que las que se encuentran en las estaciones del grupo B.

Al comparar los resultados faunísticos con los obtenidos en la campaña de 1993 se observan notables diferencias (tabla IV). Una menor abundancia de *H. diversicolor* (2261 individuos en 1993 frente a 1071 en 2002), de *Hydrobia ulvae* (Pennant, 1777) (1177 indiv frente a 153 indiv) y, sobre todo, de oligoquetos (18352 indiv frente a 3552 indiv); un considerable aumento en la abundancia de *A. romijni* (1876 indiv frente a 5216 indiv) y de *C. capitata* (193 indiv frente a 5214 indiv) y, principalmente, la presencia de una comunidad estable del bivalvo *S. plana* (211

indiv frente a 1222 indiv) en la zona de las islas del Bidasoa. Destaca también la presencia y expansión demográfica en el estuario del poliqueto oportunista e invasor *D. ornata* (Panagopoulos y Nicolaidou, 1990; Carlton y Geller, 1993). Citada por primera vez en las costas de la península Ibérica en aguas de la costa vasca (Ceberio, Martínez y Aguirrezabalaga, 1998) (5 de los 26 ejemplares en el estuario del Bidasoa), en el estudio de 1993 no se recolectó ningún ejemplar, mientras que en 2002 se contabilizaron 269 ejemplares en 12 estaciones.

En cuanto a la biomasa, en general se detecta un considerable aumento de la biomasa de la comunidad (figura 3A) en las estaciones situadas en los alrededores de las zonas donde han desaparecido los vertidos (estaciones 6, 8, 9, 10, y 12) y una menor disminución en las estaciones situadas en la zona norte (Hendaia). Estos cambios están relacionados, principalmente, con el desarrollo experimentado por la población de *S. plana* y el retroceso de *H. di-*

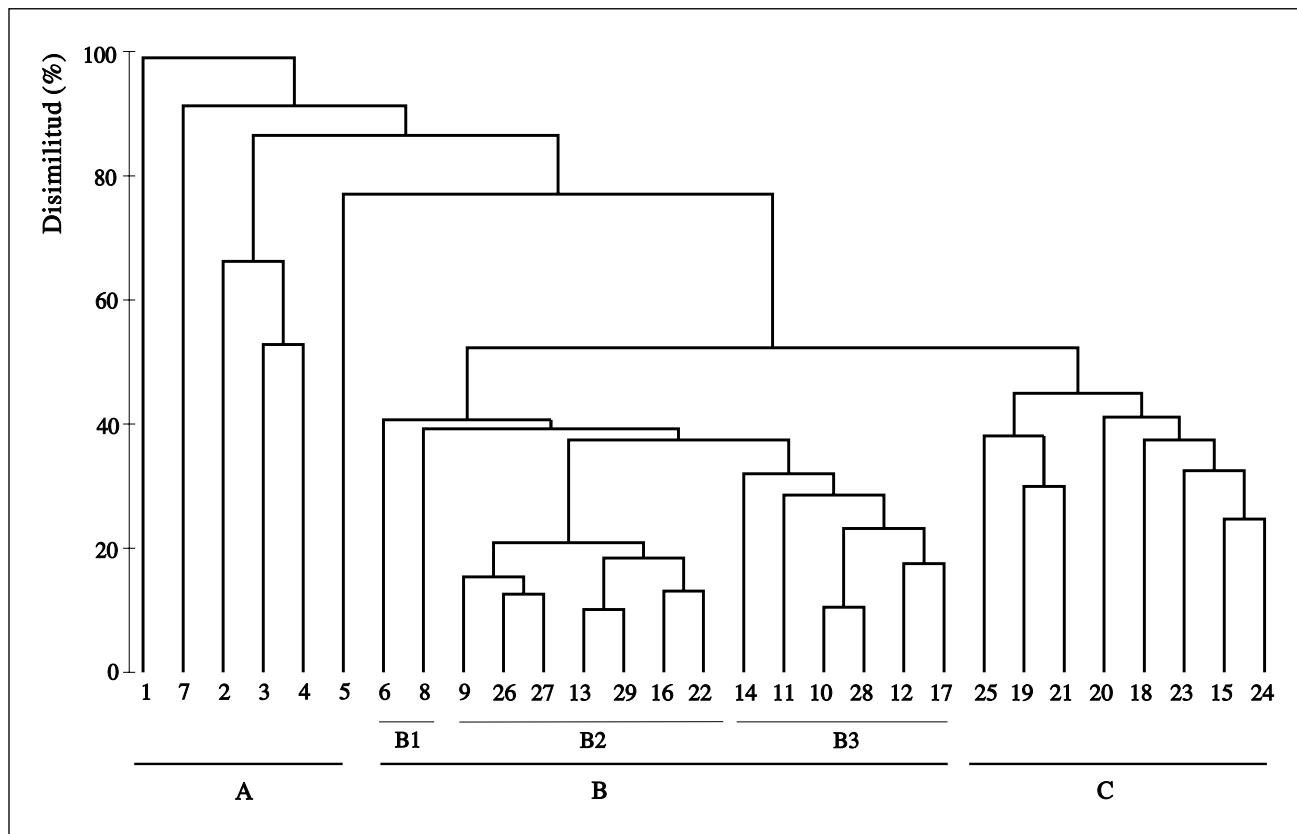


Figura 2. Dendrograma de clasificación de las muestras de 2002 en función de la distribución de la abundancia, calculado a partir del índice de disimilitud de Bray-Curtis.

Tabla IV. Listado de las principales especies de la macrofauna recolectadas en las estaciones de la zona de las islas del Bidasoa (estaciones 6 a 29). Comparación entre los años 2002 y 1993: número de estaciones en las que está presente la especie; abundancia y biomasa total; abundancia y biomasa media; abundancia y biomasa total en las estaciones (9 a 16) situadas en el canal sur (Irún); abundancia y biomasa total en las estaciones (22 a 29) situadas en el canal norte (Hendaia).

Especies	2002	1993	2002	1993	2002	1993	2002	1993	2002	1993
	N.º estaciones		N.º indiv biomasa total (g)		N.º indiv biomasa media (g)		N.º indiv biomasa canal sur (9-16) (g)		N.º indiv biomasa canal norte (22-29) (g)	
<i>Alkmaria romijni</i>	23	14	<u>5180</u> 0,50	<u>1731</u> 0,19	<u>216</u> 0,021	<u>72</u> 0,008	<u>2453</u> 0,20	<u>24</u> 0,01	<u>2032</u> 0,25	<u>1704</u> 0,18
<i>Capitella capitata</i>	23	3	<u>5122</u> 0,24	<u>158</u> 0,04	<u>213</u> 0,001	<u>7</u> 0,001	<u>1844</u> 0,09	<u>0</u> 0	<u>2862</u> 0,12	<u>5</u> 0,01
<i>Cyathura carinata</i>	20	22	<u>510</u> 0,48	<u>307</u> 0,33	<u>21</u> 0,020	<u>13</u> 0,014	<u>139</u> 0,19	<u>44</u> 0,01	<u>313</u> 0,25	<u>245</u> 0,30
<i>Hediste diversicolor</i>	23	24	<u>1068</u> 1,47	<u>1830</u> 16,25	<u>45</u> 0,061	<u>76</u> 0,677	<u>390</u> 0,38	<u>1060</u> 9,60	<u>238</u> 0,45	<u>453</u> 3,10
<i>Hydrobia ulvae</i>	6	22	<u>153</u> 0,02	<u>1177</u> 0,49	<u>6</u> 0,001	<u>49</u> 0,020	<u>43</u> 0,01	<u>258</u> 0,05	<u>4</u> 0,01	<u>380</u> 0,35
Oligochaeta	20	22	<u>3535</u> 0,11	<u>17191</u> 1,34	<u>147</u> 0,004	<u>716</u> 0,056	<u>1559</u> 0,04	<u>7478</u> 0,54	<u>1459</u> 0,05	<u>5957</u> 0,68
<i>Scrobicularia plana</i>	22	10	<u>1222</u> 42,52	<u>109</u> 21,30	<u>51</u> 1,771	<u>5</u> 0,888	<u>512</u> 23,28	<u>7</u> 2,78	<u>358</u> 11,77	<u>89</u> 17,54
<i>Streblospio shrubsolii</i>	22	15	<u>1489</u> 0,08	<u>1075</u> 0,29	<u>62</u> 0,003	<u>45</u> 0,012	<u>705</u> 0,03	<u>184</u> 0,03	<u>274</u> 0,02	<u>878</u> 0,11

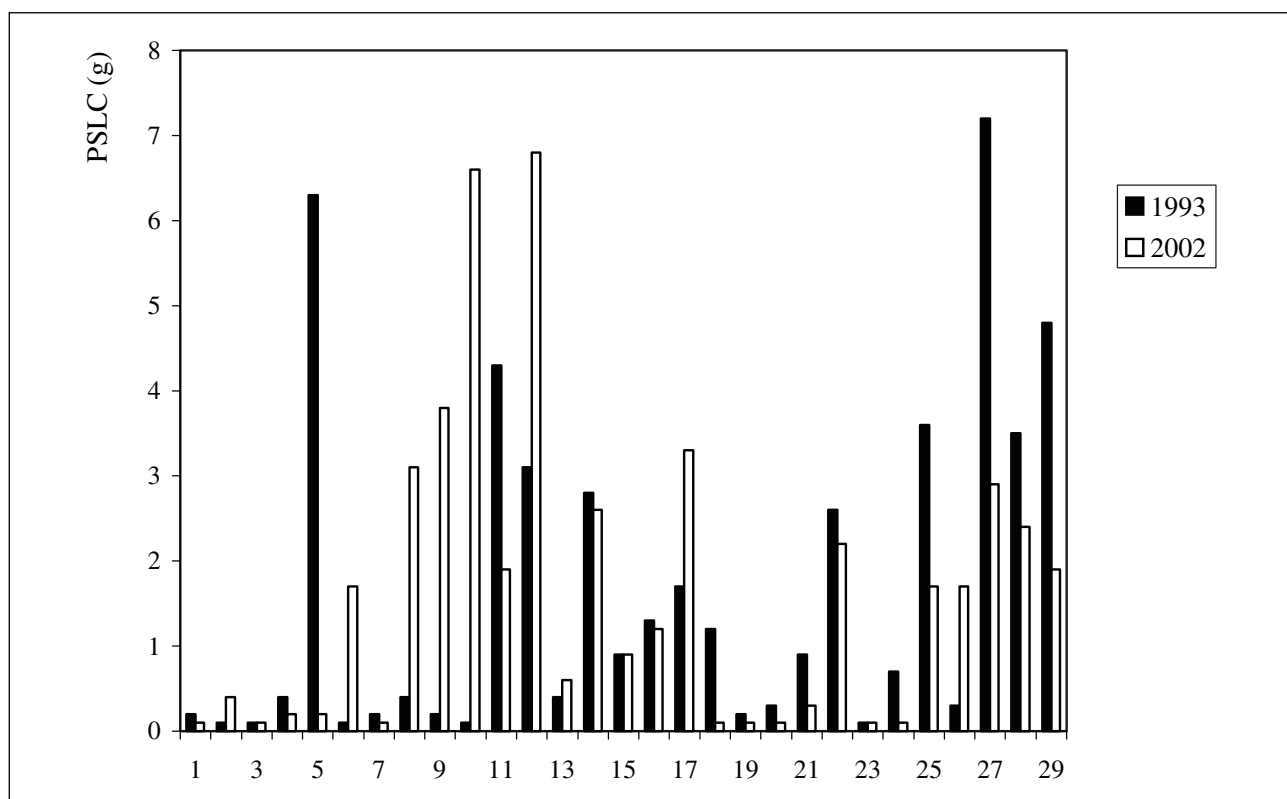


Figura 3A. Biomasa total por muestra PSLC (g).

versicolor (tabla IV). La biomasa total (PSLC) de la población de *S. plana* (estaciones 6 a 29) pasa de 21,30 g en el año 1993 a 42,52 g en el año 2002. Este incremento se debe al gran desarrollo de *S. plana* en la zona sur de las islas (Irún). Mientras en 1993 la mayor parte de la biomasa de *S. plana* la aportaban las estaciones situadas en la zona norte (17,54 g y 82,3 % del total frente a 2,78 g y 13,1 % del canal sur), en 2002 los valores de la biomasa cambian radicalmente, bajando a 11,77 g y 27,7 % del total en el canal norte, y subiendo a 23,28 g y 54,8 % en el canal sur. A su vez, *H. diversicolor* muestra un comportamiento opuesto, pasando de 16,25 g en 1993 (9,6 g y 59,2 % en el canal sur y 3,1 g y 19,1 % en el canal norte) a 1,47 g en 2002. Como consecuencia de todo ello se produce un cambio en la estructura de la comunidad respecto a la biomasa, principalmente en las estaciones situadas en las cercanías de las zonas de vertidos. Donde en 1993 *H. diversicolor* dominaba la biomasa de la comunidad (figura 3B), ahora es *S. plana* la especie dominante en biomasa (> 80 % de la biomasa total) (figura 3C).

Los valores del índice de diversidad H' de las muestras de 2002 sufren un incremento generalizado (figura 4) respecto a los obtenidos en 1993, sobre todo en las estaciones situadas en los alrededores de

las islas del Bidasoa, siendo este aumento más destacado en las situadas en la zona sur (en 1993, en general, $H' < 1,5$, y en un gran número de estaciones $H' < 1$; en 2002 en la mayoría es $H' > 2$). En las estaciones 22, 23 y 24, cercanas a Hendaia y situadas en el canal norte, la diversidad H' experimenta un descenso, aunque los valores son semejantes a los registrados en el resto de las estaciones. El aumento del índice de diversidad viene dado, principalmente, por el descenso de la abundancia y dominancia del grupo oligoquetos respecto a los valores del año 1993.

La configuración resultante de la ordenación bidimensional de las muestras de las estaciones situadas en la zona de las islas del Bidasoa en 1993 y 2002 obtenida mediante el análisis MDS, muestra valores relativamente bajos de stress (0,13). La neta separación entre las estaciones de 1993 y 2002 (figura 5) es debida a los cambios producidos en la composición faunística como consecuencia de la desaparición de los vertidos.

Análisis de edad de la población de *S. plana*

Debido al desfase de 5-6 años entre el desvío de los vertidos (desplazados desde los canales de



Figura 3B. Porcentaje de la biomasa de *Hediste diversicolor*, *S. plana* y otros en relación a la biomasa total en las muestras de 1993.

Dunboa y Artúa a la zona del puente internacional) y la realización de este estudio, y con el objetivo de determinar la rapidez de respuesta de la macrofauna ante el cambio producido, se ha realizado el análisis de la edad de la población de *S. plana*.

En el presente estudio se han recolectado 1 222 ejemplares en 23 estaciones (frente a los 211 ejemplares en 12 estaciones que se recolectaron en el estudio de 1993) a los que se ha realizado el análisis de la edad. Para la definición de las clases de edad según la talla se ha utilizado la curva

de crecimiento de Von Bertalanffy de la población de *S. plana* del Bidasoa (estación piloto) (Sola, 1995).

Los resultados obtenidos (tabla V) muestran la existencia de una población estable de *S. plana*, con varias clases de edad (incluyendo hasta 132 ejemplares de 4-5 o más años), incluso en aquellas estaciones que, estando situadas en las cercanías de los puntos de vertido (6, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18), se caracterizaban por la ausencia de individuos adultos de *S. plana* en el estudio de 1993 y la domi-

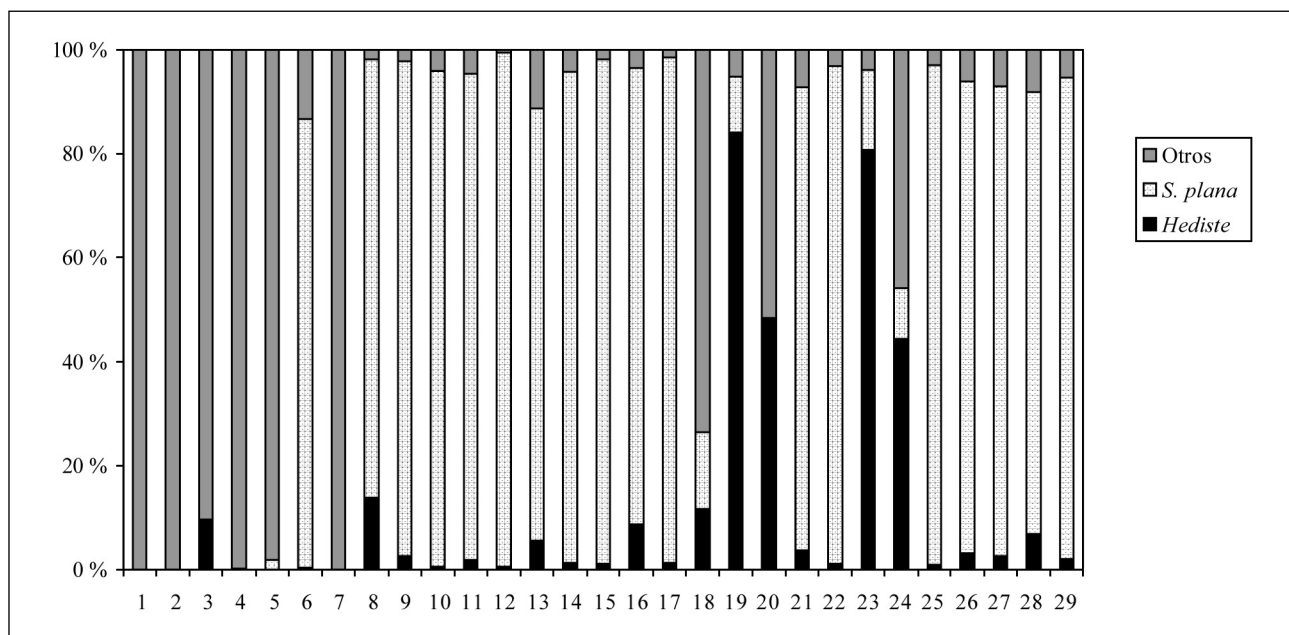


Figura 3C. Porcentajes análogos en las muestras de 2002.

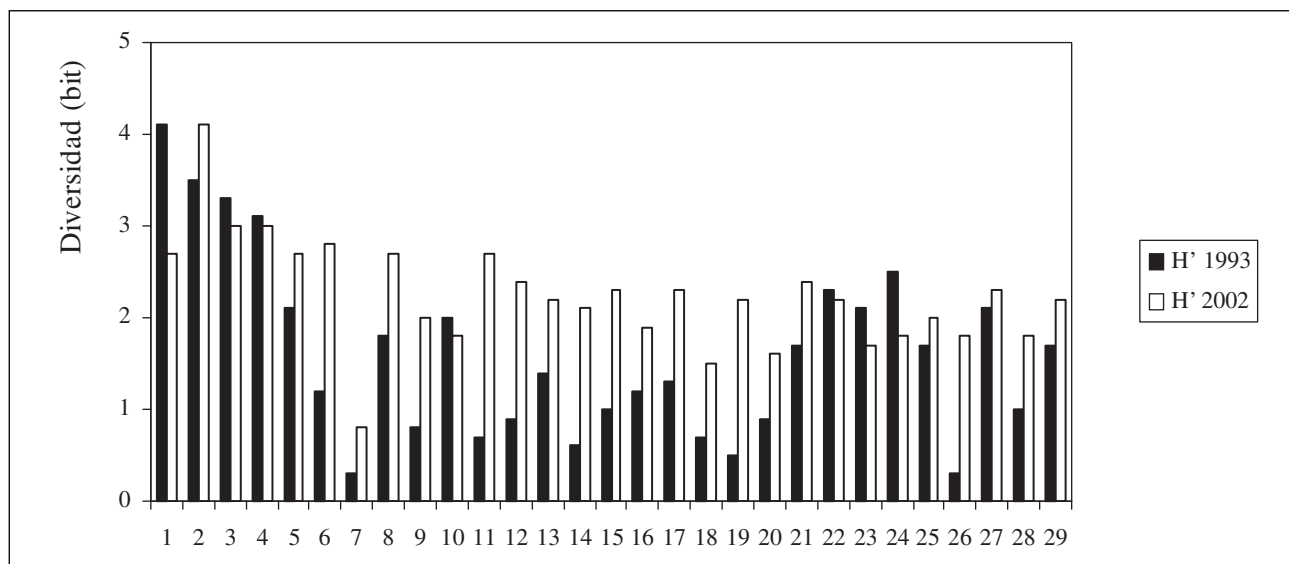


Figura 4. Diversidad (H'): comparación entre 1993 y 2002.

nancia en biomasa de *H. diversicolor*. Estos resultados muestran que la recuperación de las comunidades macrobentónicas de la zona de las islas del Bidasoa ocurrió de manera rápida, tras el desvío de los vertidos a la zona del puente internacional.

Índices bióticos y evaluación de la calidad del medio

Se ha determinado la calidad ambiental del área de estudio a partir del índice de calidad biológica

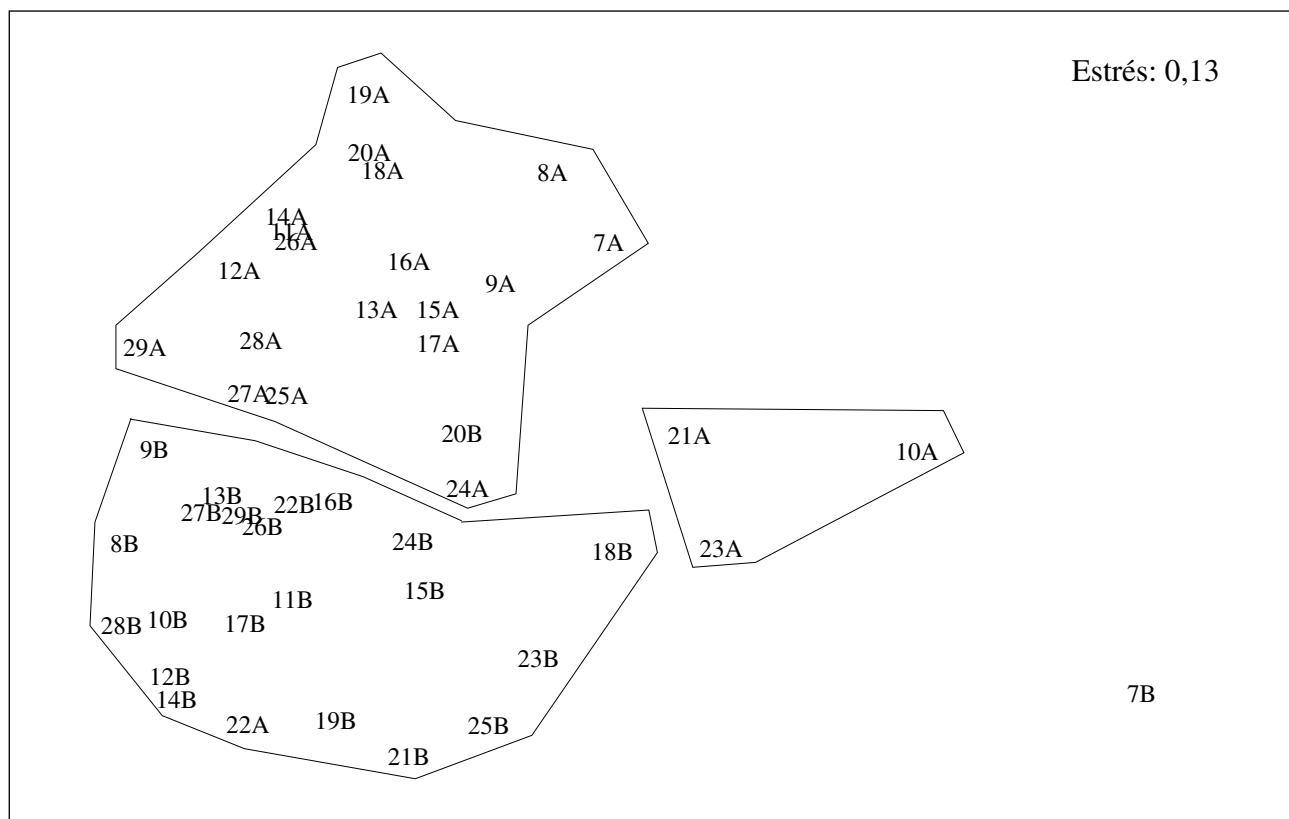


Figura 5. Ordenación bidimensional (MDS) de las muestras de las estaciones 7 a 29, de 1993 (A) y 2002 (B) en función de la distribución de la abundancia. Calculado a partir del índice de disimilitud de Bray-Curtis, se muestran los tres grupos que se forman (cluster) a un nivel de similitud del 40 %.

Tabla V. Distribución de los ejemplares de *Scrobicularia plana* por tallas y edad.

L (mm) Estación	0-14	> 14-28	> 28-32	> 32-34	> 34-36	> 36-38	> 38-40	> 40-42	> 42-44	> 44-46	> 46-48	> 48-50	Total 2002	Total 1993
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
5	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	98
6	78	14	7	1	1	—	—	—	—	—	—	—	101	9
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
8	99	12	3	2	5	2	1	—	—	—	—	—	124	2
9	31	3	7	1	4	4	2	2	—	—	—	—	54	0
10	46	13	5	2	5	4	3	5	—	—	—	—	83	0
11	43	6	4	—	2	—	1	—	—	—	—	—	56	0
12	76	—	4	2	1	7	5	6	—	—	—	—	101	7
13	40	1	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44	0
14	127	11	5	3	3	3	—	—	—	—	—	—	152	0
15	—	2	1	2	—	—	—	—	—	1	—	—	6	4
16	12	—	1	—	—	—	2	1	—	—	—	—	16	0
17	67	1	2	1	1	3	2	2	1	—	—	—	80	0
18	3	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	0
19	36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	36	0
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
21	3	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	4	2
22	20	1	1	—	—	1	—	3	1	1	—	1	29	5
23	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	0
24	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	4
25	4	—	—	—	—	—	—	1	1	—	2	—	8	13
26	24	5	3	—	2	—	—	—	1	—	—	—	35	0
27	109	4	—	2	1	1	2	—	1	2	—	—	122	29
28	82	3	2	2	4	2	—	—	—	—	—	—	95	12
29	43	2	1	—	1	4	1	—	1	—	—	—	53	26
Total	962	79	49	18	30	31	19	20	7	4	2	1	1222	211
Edad (años)	1	2	3	4	5	>5								

(ICB) (Jeffrey *et al.*, 1985), utilizado en el estudio de 1993, y el coeficiente biótico (CB) y el índice biótico (Borja, Franco y Pérez, 2000)

El índice de calidad biológica (Jeffrey *et al.*, 1985) se ha calculado en función de la proporción de estuario (zona de las islas del Bidasoa) ocupada por los distintos tipos de poblaciones, según la fórmula $ICB = \text{antilog}_{10} (C - A)$, siendo A la proporción del estuario (o parte de estuario) correspondiente a zonas abióticas, B la proporción del mismo ocupada por poblaciones oportunistas –caracterizada en el área de las islas del Bidasoa por la ausencia total o carencia de individuos adultos de *S. plana*, y por la proliferación y abundancia del poliqueto *H. divers-*

color (Sola *et al.*, inédito)– y C la proporción ocupada por poblaciones estables a largo plazo (presencia de varias clases de edad del molusco pelecípodo *S. plana*). El valor de este índice oscila entre 0 y 10.

Todas las estaciones asignadas a la zona de transición en el estudio de 1993 presentan ejemplares de *S. plana* de varias clases de edad, excepto la estación 18. Sin embargo, en esta estación, y en la estación 19, se recolectaron numerosos ejemplares de este bivalvo en un muestreo previo que se realizó en el mes de noviembre de 2001. En las estaciones 23 y 24, situadas en el margen nororiental de la isla Santiago-Aurrerá y cercanas a algunos vertidos puntuales de aguas residuales de Hendaia, no se han recolectado

ejemplares adultos de *S. plana*. Esta zona podría considerarse como correspondiente a la zona de transición. Su extensión aproximada constituiría el 5 % del total, con lo que el resto (aproximadamente el 95 %) se consideraría perteneciente a la zona estable. El valor calculado del ICB es de 9,5, muy superior al valor estimado en el estudio de 1993, que fue ICB = 6,76, y semejante al calculado por Jeffrey *et al.* (1985) para el estuario de Shannon (ICB = 9,42) y considerado como apenas contaminado.

La estación 7, situada en el canal donde desemboca la regata de Jaizubía y donde se continúa vertiendo residuos urbanos, se considera fuera del área de las islas. Esta estación está muy contaminada y la macrofauna está prácticamente ausente.

El cálculo del coeficiente biótico (CB) y el del índice biótico (IB) (Borja, Franco y Pérez, 2000) se basan en la asignación de cada especie a un grupo ecológico según su sensibilidad y respuesta a la contaminación (tabla III): grupo I de especies sensibles a la contaminación; grupo II de especies indiferentes; grupo III de especies tolerantes; grupo IV de especies oportunistas de segundo orden; y grupo V de especies oportunistas de primer orden. Basándose en los porcentajes de abundancia de cada grupo ecológico dentro de cada muestra se calcula el coeficiente biótico

$$CB = [(0 \times \%GI) + (1,5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4,5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)]/100$$

Los valores obtenidos del índice y del coeficiente bióticos indican una clara recuperación de las co-

munidades bentónicas de la zona de las islas del Bidasoa (tabla VI). Esta recuperación es evidente, sobre todo en las estaciones situadas en los alrededores de la isla Hiru-Kanale (canal sur), que muestran, en general, un claro descenso en los valores del coeficiente biótico y del índice biótico –de entre 2 y 4 unidades– como consecuencia de la desaparición de los vertidos hechos a través de los canales de Dunboa y Artía. Las estaciones 22, 23 y 24, cercanas a Hendaia y situadas en los márgenes del canal norte, muestran un incremento del IB de 2 unidades –pasan de 3 (contaminación media) a 5 (contaminación fuerte)– respecto a los valores calculados para el estudio de 1993, lo que podría indicar un empeoramiento de las condiciones ambientales, posiblemente debido al efecto de pequeños vertidos urbanos que todavía siguen realizándose desde las residencias situadas en el margen derecho del canal norte. La estación 7, situada en el canal de Jaizubía, sigue estando muy contaminada. En ambos estudios el IB es de 6 (contaminación fuerte), y en 2002 casi puede ser considerada como azoica (IB = 7: contaminación extrema). Esta zona sigue recibiendo los aportes contaminantes de la regata de Jaizubía.

DISCUSIÓN

Sedimento

Los valores del contenido en fango del sedimento son netamente inferiores a los hallados en el es-

Tabla VI. Coeficiente e índice bióticos (Borja, Franco y Pérez, 2000): comparación entre los años 1993 y 2002.

Datos 2002																											
Estación	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
Coeficiente biótico (BC)	3,91	6	3,66	5,17	3,09	3,62	3,31	4,46	3,13	4,64	5,35	3,49	5,53	3,54	4,37	3,29	5,20	5,08	5,50	3,49	5,39	4,93	3,14	4,41			
Índice biótico (BI)	3	6	3	5	2	3	3	4	2	4	5	3	6	3	4	2	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	3	5	4	2	<u>4</u>			
Índice biótico (BI)	3	6	3	5	<u>4</u>	<u>6</u>	<u>6</u>	4	<u>6</u>	<u>6</u>	5	<u>5</u>	6	<u>6</u>	<u>5</u>	<u>3</u>	3	3	3	<u>4</u>	<u>6</u>	4	<u>5</u>	3			
Coeficiente biótico (BC)	4,15	5,90	3,91	5,43	4,33	5,55	5,57	4,96	5,61	5,66	5,09	5,07	5,63	5,63	5,31	3,95	3,46	3,95	3,64	4,95	5,87	4,54	5,47	4,26			
Estación	6	7	8	9	1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
Datos 1993																											

tudio de 1993; sin embargo, los tipos sedimentarios y su distribución en el estuario (arenas en la zona más externa y sedimentos más finos en la parte más fluvial) son, por lo demás, comunes a los propios de rías y estuarios (Mora, 1980, Sola *et al.*, inédito), y muestran una gran semejanza con los del estudio de 1993.

Los valores del contenido en materia orgánica de los sedimentos son, en general, más altos a los obtenidos en 1993. Esta aparente contradicción (aumento del contenido en materia orgánica en el sedimento tras la desviación de los vertidos) puede ser debida a que, en esta área, los sedimentos se ven influidos por la variabilidad temporal de los aportes naturales de materia orgánica de origen terrestre, como indican los altos valores obtenidos en la relación C/N –netamente superior a 12 (C/N > 14–, lo que se considera un hecho inequívoco de que un sedimento superficial está afectado por aportes de materia orgánica de origen terrestre, principalmente vegetal (Cervino, Alonso y Landín, 1982).

Agua

Los valores del nitrógeno total y de fósforo, así como los de la relación N/P, indican que las estaciones F (regata de Jaizubía) y C (canal norte–Hendaia– de las islas del Bidasoa) reciben aportes distintos a los de las restantes estaciones. La estación F registra los mayores valores de N total y P debido a las contribuciones de los vertidos de aguas residuales de la zona de Jaizubía, mientras que en la estación C, posiblemente, se detectan las aportaciones procedentes de pequeños vertidos urbanos realizados desde las residencias situadas en el margen derecho del canal norte.

Fauna

Las especies dominantes y características de las estaciones situadas en los alrededores de las islas del Bidasoa (*S. plana*, *H. diversicolor*, *C. carinata*, *S. shrubsolii*, *A. romijni*, *C. capitata* y oligoquetos) son las propias de la comunidad reducida de *Macoma*. Esta comunidad se encuentra bien representada en las costas cantábricas y atlánticas de la península Ibérica (Junoy, 1988; Junoy, 1996; Sola, 1995; Saiz, Francés e Imaz, 1996; Sola 1997) y ocupa amplias

zonas del intermareal del estuario del Bidasoa (Borja, 1988; Sola, 1995; Sola, 1997).

En el estuario del Bidasoa, *S. plana* es la especie dominante en biomasa y, junto con *H. diversicolor*, determina la biomasa de la comunidad reducida de *Macoma* (Sola, 1997). Sin embargo, la contaminación producida por las descargas de aguas residuales puede producir la desaparición total o de ejemplares adultos de *S. plana* y la proliferación del poliqueto *H. diversicolor*. Esta última especie pasa a dominar y determinar la biomasa de la comunidad, como se mostraba en el estudio de 1993 (Sola *et al.*, inédito), e incluso puede llegar a aparecer como la única especie de la macrofauna, como ocurre en amplias zonas intermareales de la ría de Bilbao (Saiz, Francés e Imaz, 1996; Francés y Saiz, 1997).

La presencia de una comunidad estable y desarrollada del bivalvo *S. plana* en la zona de las islas del Bidasoa, los cambios observados en las abundancias relativas de las distintas especies (y el consecuente incremento de los valores de la diversidad H'), el aumento de la biomasa de las comunidades asentadas en las zonas que recibían los vertidos y el cambio en la estructura de la comunidad respecto a la biomasa (con dominancia de *S. plana* en detrimento de *H. diversicolor*), indican la recuperación de las comunidades tras la desviación de los vertidos. Esta recuperación es especialmente patente en las estaciones situadas en el canal sur de las islas del Bidasoa. La estación 7, situada en el canal de Jaizubía, que sigue recibiendo los aportes contaminantes de la regata, sigue estando muy contaminada y en 2002 casi puede ser considerada como azoica.

Los resultados obtenidos con el índice y el coeficiente bióticos utilizados son coherentes con aquéllos que se han descrito y que han sido establecidos con la ayuda de otros métodos y características (riqueza específica, biomasa, H' ...), y muestran que estos índices pueden ser complementarios a la hora de establecer la calidad ecológica de las comunidades bentónicas de fondos blandos (Borja, Muxika y Franco, 2003).

Scrobicularia plana es una especie que desarrolla poblaciones estables que colonizan los sedimentos fangosos de los estuarios, y que alcanza tallas elevadas y una gran longevidad. En el estuario del Bidasoa, *S. plana* puede llegar a alcanzar hasta 51 mm y 5/6 años (Sola, 1995). La presencia de individuos adultos de *S. plana* (hasta 132 ejemplares de 4-5 o más años) en aquellas estaciones en las

que estaban ausentes en el estudio de 1993, indicaría que los individuos de *S. plana* fueron capaces de colonizar y sobrevivir en esas zonas muy poco tiempo después del desplazamiento de los vertidos de los canales de Dunboa y Artía a la zona del puente internacional, en 1996 y 1997 respectivamente, previo a su desvío final al mar en septiembre de 2000, y que, por tanto, la recuperación de las comunidades macrobentónicas de la zona de las islas del Bidasoa se inició de manera rápida, tras el desvío de los vertidos a la zona del puente internacional.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Departamento de Obras Hidráulicas y Urbanismo de la Exma. Diputación Foral de Gipuzkoa y, en especial, a Félix Izco por su ayuda en la realización de los análisis químicos del sedimento y agua. A Servicios de Txingudi S.A. y, en particular, a Maite Margeli por su colaboración y ayuda a la realización de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Borja, A. 1988. Estudio de los moluscos bivalvos de la ría de Fuenterrabía (N España), en mayo de 1987. *Iberus* 8: 187-202.
- Borja, A., M. J. Belzunce, J. Franco y V. Valencia. 2000. *La red de vigilancia y control de la calidad de las aguas litorales del País Vasco: años 1998 y 1999*. Departamento del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria: 92 pp.
- Borja, A., J. Franco y V. Pérez. 2000. A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos Within European Estuarine and Coastal Environments. *Marine Pollution Bulletin* 40: 1100-1114.
- Borja, A., I. Muxika y J. Franco. 2003. The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. *Marine Pollution Bulletin* 46: 835-845.
- Carlton, J. T. y J. B. Geller. 1993. Ecological roulette: the global transport of nonindigenous marine organisms. *Science* 261: 78-82.
- Ceberio, A., J. Martínez y F. Aguirrezabalaga. 1998. Presencia de *Desdemonia ornata* Banse, 1957 (Polychaeta, Sabellidae) en las costas de la Península Ibérica, Golfo de Vizcaya. *Munibe (Ciencias Naturales)* 50: 37-41.
- Cerviño, A., J. L. Alonso y A. Landín. 1982. Estudio del sedimento de la desembocadura del río Lérez (Pontevedra) y delimitación del banco natural de moluscos que se asienta sobre él. *Oecologia Aquatica* 6: 65-83.
- Clarke, K.R. y R.M. Warwick. 1994. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Natural Environment Research Council. Plymouth: 144 pp.
- Francés, G y J. I. Saiz. 1997. Ciclo de vida de *Nereis diversicolor* O. F. Müller (Annelida, Polychaeta) en dos estuarios del norte de España con diferente carga de contaminación. En: *Investigaciones sobre el bentos marino. IX Simposio ibérico de estudios del bentos marino* (19-23 de febrero, 1996. Alcalá de Henares, Madrid, España). J. M. Viéitez y J. Junoy (eds.). *Publicaciones Especiales. Instituto Español de Oceanografía* 23: 207-215.
- Glémarec, M. y C. Hily. 1981. Perturbations apportées a la macrofaune benthique de la baie de Concarneau par les effluents urbains et portuaires. *Acta Oecologica. Oecologia Applicata* 2: 139-150.
- Grall, J. y Glémarec, M. 1997. Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 44 (A): 43-53.
- Hily, C. 1984. *Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hyper-trophiques de la rade de Brest*. Tesis doctoral. Universidad de Bretaña Occidental. Vol. 1 y 2: 359 pp.; 337 pp.
- Jeffrey, D. W., J. G. Wilson, C. R. Harris y D. L. Tomlinson. 1985. The application of two simple indices to Irish estuary pollution status. En: *Estuarine Management and Quality Assessment*. J. G. Wilson y W. Halcrow (eds.): 147-161. Plenum Press. Londres.
- Junoy, J. M. 1988. *Estudio de la Macrofauna Intermareal de Sustrato Blando de la Ría de Foz (Lugo)*. Tesis doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. Alcalá de Henares (Madrid): 699 pp.
- Junoy, J. 1996. *La Ría de Foz. Comunidades Bentónicas*. Servicio de Publicaciones. Diputación Provincial de Lugo. Lugo, España: 210 pp.
- Mora, J. 1980. *Poblaciones bentónicas de la Ría de Arosa*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela (A Coruña), España: 335 pp.
- Panagopoulos, D. y A. Nicolaidou. 1990. A population of *Desdemonia ornata* Banse, 1957 (Polychaeta, Sabellidae) settle in a fully marine habitat of the Mediterranean. *Oebalia* XVI: 35-39.
- Saiz, J. I., G. Francés y X. Imaz. 1996. *Uso de bioindicadores en la evaluación de la contaminación de la ría de Bilbao*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Leioa: 128 pp.
- Sola, J. C. 1995. *Estudio de la comunidad reducida de Macoma en el estuario del Bidasoa* (Serie Tesis Doctorales). Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco: 526 pp.
- Sola, J. C. 1997. Dinámica de la comunidad reducida de *Macoma* en el estuario del Bidasoa, Guipúzcoa (golfo de Vizcaya). En: *Investigaciones sobre el bentos marino. IX Simposio ibérico de estudios del bentos marino* (19-23 de febrero, 1996. Alcalá de Henares, Madrid, España). J. M. Viéitez y J. Junoy (eds.). *Publicaciones Especiales. Instituto Español de Oceanografía* 23: 83-92.